

Application of Scenarios to the Impact Assessment of Forest Life Zones in Taiwan

Wei-Hsuan CHEN¹, Fong-Long Feng²

1.Master of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: new.a8551@msa.hinet.net
2.Professor of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: flfeng@nchu.edu.tw

【Abstract】

In order to let us to evaluate the impact of Climate Change under the environment which CO₂ concentration in air is increasing, we use the Holdridge life zone classification mode, IPCC SRES scenarios and Forest-Grid to simulate and predict future site factor and ecoregion in Taiwan.

We arrange temperature, rainfall and potential evapotranspiration ratio, cooperate with Forest Grid (Fong-Long, Feng, Wu, 2005) and Holdridge life zones. At SRES-A2, we know that the temperature rises, and the rainfall reduces. It caused the "Tropical Moist Forest" and "Tropical Dry Forest" of Holdridge life zones increase in western Taiwan. At SRES-B2, the temperature rises less than SRES-A2, but the rainfall increase. So the area of "Tropical Dry Forest" increase less than SRES-A2, and the reduced area of "Subtropical Lower Montane Moist Forest" of the mountain area is less too. With time, the Holdridge life zones of SRES-A2&B2 change and focus in the Northeast and the southwest in a short-term at the beginning, then changes expand to the whole Taiwan in medium-term and long-term. The changes of tropical forest life zones increase from low elevation to high elevation. The area of cool temperate and subtropical forest life zones reduce at high elevation. These data can offer information to assess impact of climate changes at the Taiwan ecological environment in the future.

【Key words】 : Holdridge, SRES, Scenarios, Forest Grid

第一章 前言

利用 Holdridge 建立台灣的植生分布情形，也就是生態分區（Life zones），並利用 IPCC SRES（Special Report on Emission Scenarios）假設情境的模擬方法來推測大氣中 CO₂ 濃度上升，到西元 2100 年止，CO₂ 濃度會在某時期到達，甚至超過工業革命前 280ppm 的兩倍濃度（560ppm）的背景下，平均氣溫與年降雨量的變化，得到台灣未來因衝擊所造成的森林生態區改變。再經由 Forest Grid 程式分析不同時期間其氣溫與雨量的差異。藉由這樣的步驟，目的是能藉由情境模擬來評估氣候變遷對森林生態區與森林界線的影響。未來希望能提供一個預測資訊，給相關團體擬定適合台灣的氣候變遷對應策略。

第二章 前人研究

一、Holdridge 生態分區

Holdridge（1967）將生物溫度（Biotemperature）、年降水量（Annual Precipitation）和降水的潛在蒸發散比例（Potential Evapotranspiration Ratio, PET Ratio）等氣候變數與全球主要生態系的分布相結合，並研究之間的關聯性，發展

1.Master of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: new.a8551@msa.hinet.net

2.Professor of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: flfeng@nchu.edu.tw

出全球可使用的“Holdridge 生態區分類圖” (Holdridge, 1967)。

此生態區分類圖是由兩個氣候變數：生物溫度、年降水量及一個導出變數：潛在土壤水分蒸發散比率，來決定其生態區的分類，並由多數的六邊形組合在一個三角形座標系統上。經由這三個變數均等劃分，將整個三角形座標系統區分成各個不同種類的生態區。Holdridge 模式也考慮到極端氣候狀況的影響，其中降霜線又位處暖溫帶及副熱帶（年平均生物溫約 12°C 到 24°C 之間）的臨界溫度線上，而將六角形的分類區切劃開 (Holdridge, 1967)。在這樣的考量下，完整的 Holdridge 生態區分類圖，共分成 37 個生態區，如圖 1 所示。

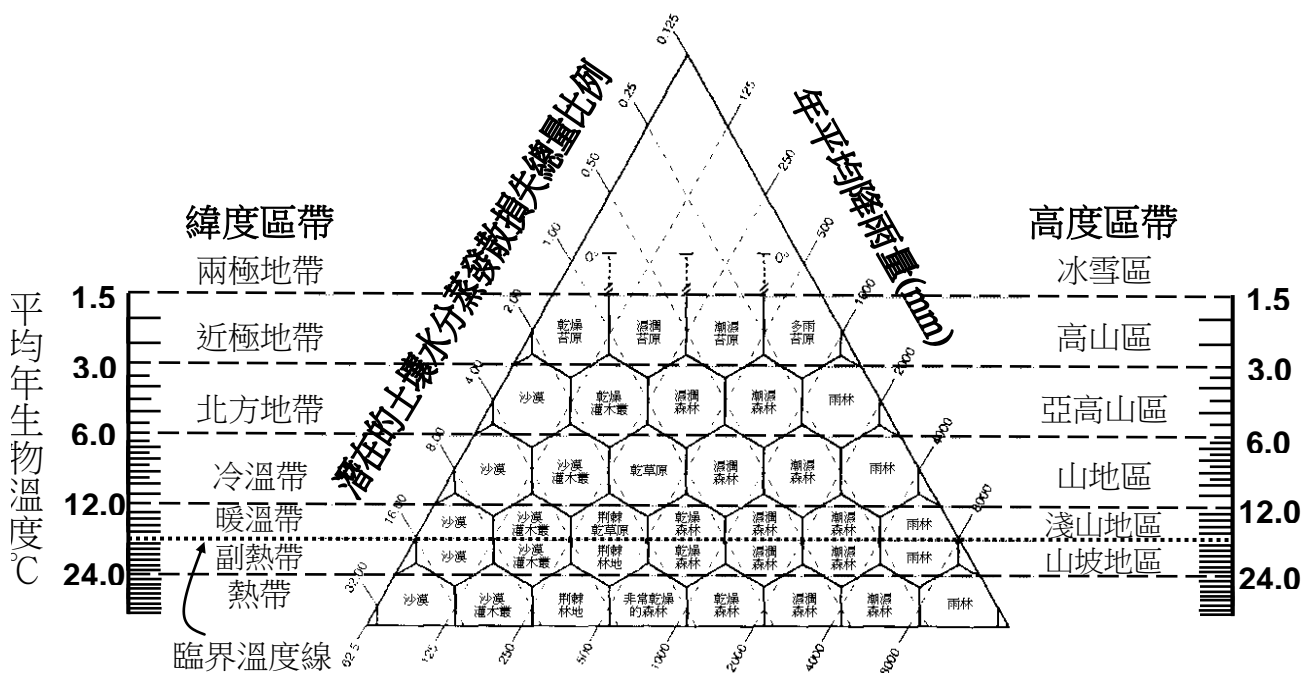


Fig. 1 Holdridge life zones model (Holdridge, 1967, Feng, 2001)

Holdridge 模式與植物群在不同的氣候下的空間分布情形有密切關係，可以用來檢驗：(1)不同尺度下，植群分布與氣候之間的相互關係、(2)某地區中不同植群或森林對於氣候變遷的適應性。且 Holdridge 模式在假設情境的氣候模擬上，由全球大氣環流模式 (General Circulation Model, GCM) 模擬預測的氣候變遷，可以很容易的與 Holdridge 模式結合 (馮豐隆與高堅泰，2001)。因此使用 Holdridge 模式來評估氣候變遷後的生態分區變化。

二、假設情境

假設情境 (Scenario) 是對未來做合理且一致的敘述 (IPCC, 1996)。又稱為“未來發展的藍圖”。

氣候變遷的衝擊研究，在於如何去發展假設情境的社會經濟參數，使假設情境與衝擊分析結合一起。在此使用 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 建立的情境模擬方法 (SRES) 來預測未來氣候改變。IPCC 於 1990 年開始

1.Master of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: new.a8551@msa.hinet.net

2.Professor of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: flfeng@nchu.edu.tw

發展溫室氣體排放影響預測的相關計畫。IPCC SRES排放假設情境特別報告（Special Report on Emission Scenarios），針對溫室氣體排放假設情境、源與匯，以未來可能的經濟、人口、工業與環境的發展背景進行預測，提出溫室氣體可能排放的趨勢，再以大氣環流模式預測對應之氣候變遷。且童慶斌（2004）提出氣候變遷假設情境可分成四類(1)全球環流模式預測、(2)時間類比、(3)空間類比及(4)假設，其中第一項透過大氣環流模式預測可以真正用物理性來評估大氣溫室氣體加強後導致全球暖化之特性。根據IPCC SRES預測西元2100年CO₂濃度將在540~970ppm之間（如圖2.3），而全球平均氣溫與海平面都會升高（IPCC,2001），即使是最樂觀的情境，至本世紀末也很難穩定維持大氣中CO₂濃度為工業革命前280ppm之水準，因此，氣候變遷已無法避免之。自工業革命後，人為活動改變，使得溫室氣體增加，直接或間接改變大氣組成，進而增加溫室效應，使地球溫度上升造成全球暖化。SRES預測未來大氣中CO₂濃度將增加到兩倍或是兩倍以上時（如圖2），全球平均地面氣溫將比1990年增加1.5到4.5℃，且全球雨量將會增加。

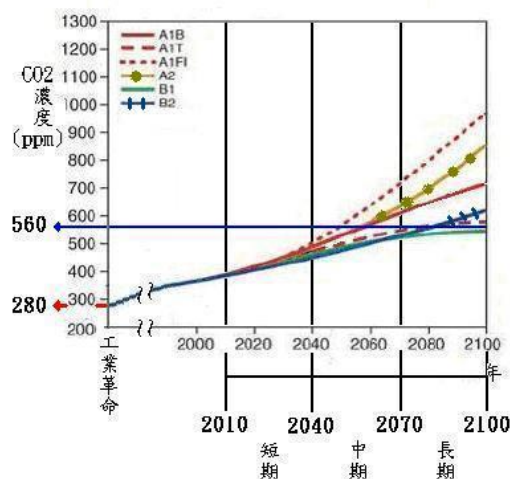


Fig.2 SRES predicts CO₂ thickness will be among 540~970ppm in A.D. 2100 (Fixed from IPCC, 2001) .

SRES考慮到未來可能致力於經濟發展，或是朝永續利用的目標等不同程度的可能情形，以及考慮全球性或是區域性不同發展帶來的影響。IPCC 在2001 年所發表的排放假設情境特別報告（SRES，The Special Report on Emission Scenario）中依情境可分成了四種：A1（Rapid Global Growth Scenario）、A2（Regional Growth Scenario）、B1（Global Service Economy Scenario）、B2（Increasing Population Scenario），用以建立未來全球發展模型。在這四種假設情境中，A表示著重於經濟發展，B表示進行於環境的保護，1表示適用於全球，2則表示適合於區域。由這4個符號可劃分出四大類型的未來全球發展情境，其中A1和A2強調經濟發展，但在經濟和社會發展程度上有所不同，B1和B2強調可永續發展，同樣在發展程度上不

同（如圖3）。此四種如下：

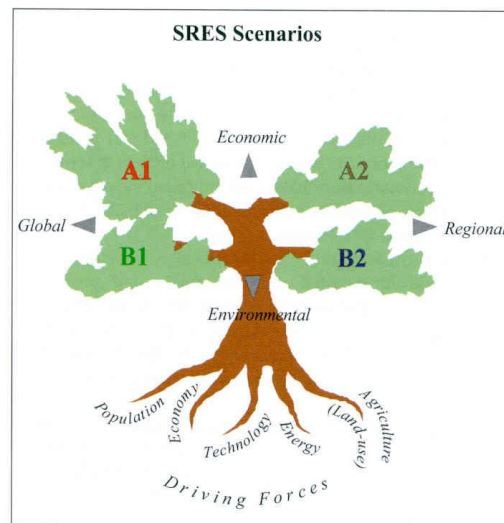


Fig.3 SRES Scenario (IPCC, 2001) .

SRES-A1：對經濟高度發展之假設情境。

SRES-A2：國內或區域經濟發展、資源利用假設情境。

SRES-B1：全球可永續發展、環境保護假設情境。

SRES-B2：區域可永續發展、環境保護假設情境。

而針對台灣在全球上的區域性性質，在此使用A2與B2兩種情境模擬，針對區域下經濟發展與環境保護兩種情境模擬來做研究。此外應用GCM模式資料上，在此氣候變遷對生態環境衝擊評估研究中並不直接跑GCM，而是利用大氣科學家已完成GCM電腦模擬試驗之結果資料，來擬定未來可能的氣候變遷假設情境

（Scenario）；又GCM為模擬全球尺度之氣候，其解析度與一般生態環境之區域性研究相比的話相對大很多，因此在使用此GCM資料在假設情境模擬研究時，必須要先進行降尺度之工作。

一般降尺度（Downscaling）方法為(1)假設區域氣候變化與大尺度氣候變化一致，即與鄰近格點相同；(2)建立區域氣候與大尺度氣候間關係，再利用此關係由GCM預測值推估區域之氣候變遷；(3)建立區域氣候模式，以GCM輸出為邊界條件模擬區域之氣候變化（黃啟峰，2002）。本研究之假設情境是採用第一種降尺度方法，直接將氣候模式預測改變量加至觀測資料。IPCC SRES提供了幾種GCM模式，在此使用最直接的GCM2模式全球氣溫模擬情境，進行台灣區域的降尺度步驟，以模擬未來台灣區域性的氣溫雨量變化。且按照IPCC提供之CGCM2模式輸出資料（附錄2），將A2與B2 SRES各別分成三個時期模擬：分成短期（西元2010～2039年）、中期（西元2040～2069年）與長期（西元2070～2099年）三個時期的情境模擬預測，逐步預測未來的氣溫與雨量變化（圖2）。IPCC（2001）也提出了氣候變遷可能的不確定性，包括：(1)氣候變遷假設情境各模式結果之不確定性、(2)歷史氣候資料之不確定性、(3)評估模式之不確定性與(4)其他不確定性，因此在應

1.Master of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: new.a8551@msa.hinet.net

2.Professor of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: flfeng@nchu.edu.tw

用GCM上在降低不確定性的方面仍是未來重要研究課題。

三、空間推估

森林監測系統必須透過森林資源調查永久樣區與長期觀測點才能建立，但是森林面積廣大，調查耗時耗力，受限於時間與成本。因此需要一個有效的推估模式進行大尺度的推估。藉由空間推估法（Spatial Interpolation）與其模式的建立，提高自然界各種資源變異之推估能力，以提供自然資源的經營與管理（黃志成，1997）。空間推估是利用已知的觀測樣點來推估研究區域中其他未知區域的性態值之過程（Burrough, 1986）。大多數面屬性的資料只能進行點觀測，因此空間推估分析是一項很有用且重要的技術。

（一）Kriging 法

雨量推估參考馮隆隆與高堅泰於西元 1999 年於台大實驗林報告發表之應用克利金推估模式於降雨製圖，因為 Kriging 具有詳細推估的功能，也有多位學者使用此方法進行雨量空間推估，因此採用 Kriging 法。

Kriging 法廣泛的使用在土壤學與地質研究等方面，其方法是基於區域化的變數理論（Theory of regionalized variable），經半變異圖（Semi-variogram）分析後得到區域化變數空間相依（Spatial dependence）的結構，在滿足最佳線性無偏估計（Best linear unbiased estimate）的條件下，用 Kriging 法去推估未知樣點或是未知區域的數據。

本次研究參考吳昶清（2002）應用一般克利金法（Ordinary Kriging）、簡單克利金（Simple Kriging）及通用克利金（Universal Kriging）推估月降雨量及年降雨量，選擇模式依據半變異圖選擇最適合的影響範圍（range），並由誤差值判斷最適之模式（附錄 1），作為固定變數來建立月降雨量及年降雨量資料。

（二）Trend 法

趨勢面法（Trend）是描述漸漸變化、或是大範圍變化最簡單的方法。藉由多項式回歸分析，並以最小平方方法來配適已知資料點的趨勢面（Trend）。若趨勢面成波浪起伏，則可以使用多次多項式表示。若已解釋變量越高，則表示此面越貼切，推估效果也越好，其曲面即代表全區的大結構及綜合趨勢。在地理研究上，各現象的空間變化不單可以做出趨勢面，亦可製作殘差圖，另外尋找影響因素。

趨勢面法利用一多項迴歸式來描述漸近性的大範圍變數，基於資料的維度透過最小平方方法來決定該多項式（馮豐隆與黃志成，1997）。高堅泰（1999）提出溫度的推估可採用趨勢面法一次多項式推估。因此本研究使用趨勢面法加以推估全台灣的溫度分布。

第三章 研究材料及方法

一、研究材料

- (一) 年平均溫度：參考中央氣象局 25 氣象站資料，整理出 1960~1989 年間，每月每日的日均溫資料，再加以計算出代表連續 30 年的 1~12 月每月均溫與年均溫（高堅泰與馮豐隆，2001）。
- (二) 年雨量：取自經濟部水資會整理台灣地區雨量站之長期雨量紀錄資料，總共有 818 雨量站，並有各站之 1~12 每月月雨量與年雨量（水資會，1989、高堅泰與馮豐隆，2001）。
- (三) 地形：此研究之高程圖取自於林務局農林航空測量所製作之 40m*40m 數值地形資料（高堅泰與馮豐隆，2001）。
- (四) SRES-A2、SRES-B2 氣溫與雨量推估。

使用 IPCC 提供之 SRES 大氣環流模式 CGCM2 模式資料。並以 CGCM2 模式全球分區（將全球分為 96*48 個網格點，每一點為分區中心）為背景，找出台灣氣象站所包含的三個分區，以降尺度（Dowscaling）方法將 CGCM2 資料使用於台灣，如圖 4~5。

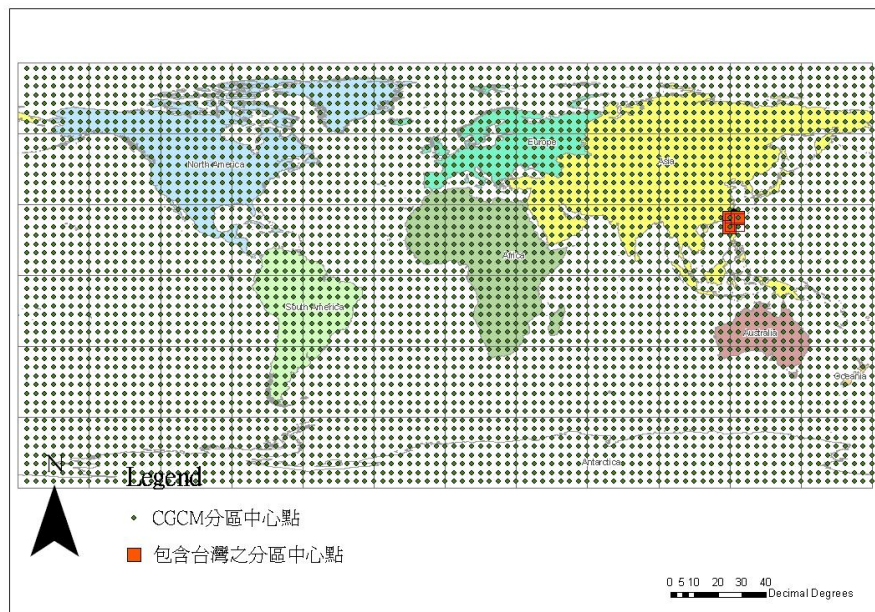


Fig.4 GCM2 model in global.

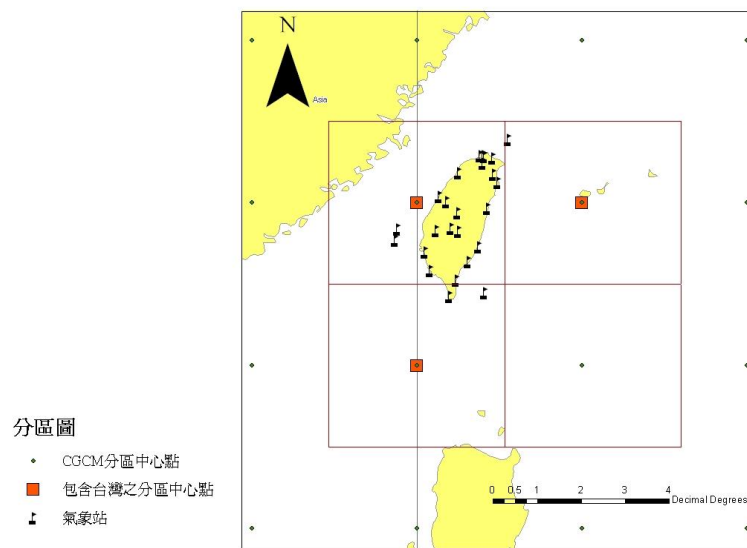


Fig. 5 The location of Taiwan in CGCM2 zone.

二、研究方法

利用 IPCC SRES 提供的資料，建立好氣溫與雨量的情境模擬表格（參考附錄 2），並分成 30 年基線（西元 1960～1989 年）、短期（西元 2010～2039 年）、中期（西元 2040～2069 年）與長期（西元 2070～2099 年）四個時期的情境模擬，藉由 30 年基線資料，分別模擬出可代表短期、中期與長期各時期的年均溫與年雨量，也可看作是短期、中期與長期各時期最終結果之年均溫與年雨量。選擇西元 1960～1989 年氣象資料為基準是因為雨量推估上已有吳昶清（2002）之推估成果，可以作為可信的參考資料，且氣象資料在西元 1961～1990 年與西元 1960～1989 年的數據接近，因此將氣象資料同整為西元 1960～1989 年，作為基線加以模擬。

藉由 IPCC 提供的資料，在氣溫方面上再利用 ArcGIS 軟體進行趨勢面法一次多項式的空間推估，並進行海拔修正，推估出過去 30 年間、A2 與 B2 情境模擬的台灣年均溫之空間分布。

雨量方面則是同樣運用 Arc-GIS 軟體來進行一般克利金法、簡單克利金法及通用克利金法的全台雨量分布推估，推估過去 30 年基線間、A2 與 B2 情境模擬之 12 個月的台灣每月累積雨量之空間分布，再計算出年均與量之空間分布。

潛在蒸發散比例則是藉由年均溫與年雨量為因子的運算，來導出其比例（Holdridge, 1967）。

潛在蒸發散比例可由下列公式計算而出：

$$\text{潛在蒸發散比} = \frac{58.93 * \text{年均溫}}{\text{年降雨量}} \quad (1)$$

第四章 結果

假設情境對 Holdridge 生態分區的影響評估

將以上三種決定因子：年均溫、年雨量及潛在蒸發散比例的結果，可以製作出不同情境模擬的 Holdridge 生態分區。分區上主要使用氣溫因子與雨量因子來找出適合之生態分區，潛在蒸發散比因子則為輔助因子。而台灣在生態分區後，可以找出適合之生態分區與無法定出的種類，稱為 Holdridge 無法分區。

1. 基線之 Holdridge 生態分區

由基線的年均溫與年雨量資料，配合潛在蒸發散比例，可以定出基線之 Holdridge 生態分區，結果如下圖 6 與表 1：

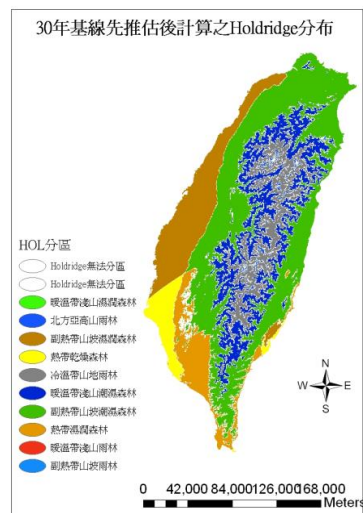


Fig. 6 The Holdridge life zones of Base-line.

Table. 1 The area of Holdridge life zones at Base-line (unit: km²).

氣溫(攝氏)	雨量(mm)	分類	面積
1.5 以下	2000~4000	Holdridge 無法分區	1.41
24 以上	1000 以下	熱帶非常乾燥的森林	
1.5~3	2000~4000	Holdridge 無法分區	23.48
6~12	1000~2000	冷溫帶山地潮濕森林	
12~18	1000~2000	暖溫帶淺山濕潤森林	0.17
1.5~3	4000~8000	Holdridge 無法分區	
3~6	2000~4000	北方亞高山雨林	391.34
18~24	1000~2000	副熱帶山坡濕潤森林	4859.96
24 以上	1000~2000	熱帶乾燥森林	1577.60

1.Master of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: new.a8551@msa.hinet.net

2.Professor of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: flfeng@nchu.edu.tw

6~12	2000~4000	冷溫帶山地雨林	3811.67
3~6	4000~8000	Holdridge 無法分區	
12~18	2000~4000	暖溫帶淺山潮濕森林	7279.37
6~12	4000~8000	冷溫帶山地雨林	
18~24	2000~4000	副熱帶山坡潮濕森林	15031.09
24 以上	2000~4000	熱帶濕潤森林	3006.27
12~18	4000~8000	暖溫帶淺山雨林	4.16
18~24	4000~8000	副熱帶山坡雨林	16.66
24 以上	4000~8000	熱帶潮濕森林	
18~24	8000 以上	熱帶雨林	
面積合計			36003.18

由圖 6 與表 1 可以看到在基線之 Holdridge 生態分區上，以中海拔山區的「副熱帶山坡潮濕森林」所佔面積最多，約有 15031.09 平方公里；北部到西部沿海則有著 4859.96 平方公里面積的「副熱帶山坡濕潤森林」。西南部到南部則以「熱帶乾燥森林」與「熱帶濕潤森林」為主；「暖溫帶淺山濕潤森林」與「冷溫帶山地雨林」則盤據高海拔。零星的「暖溫帶淺山濕潤森林」、「北方亞高山雨林」散佈在中央山脈三千公尺以上山區，「暖溫帶淺山雨林」與「副熱帶山坡雨林」則是位於東北部。另外還有 Holdridge 無法分區的部份，氣溫在 1.5℃ 以下，雨量為 2000~4000mm，佔了 1.41 平方公里；氣溫在 1.5~3℃ 間，雨量為 2000~4000mm，佔了 23.48 平方公里。此兩者無法用 Holdridge 生態分區系統給予分類，且其主要位於台灣北部與北部山區約海拔 3600 公尺以上位置，其餘則零星散布在海拔 3000 公尺以下山區。

2. 基線與 A2 短期，與中期以及長期的變化

在 SRES-A2 模擬上，由下圖 7 可以看出在基線、A2 短期、A2 中期以及 A2 長期的變化情形，一開始由西南部與東北部變化，最後是整個台灣。在基線到 A2 短期階段，可以清楚的看到西南部中，「熱帶濕潤森林」的增加，將「熱帶乾燥森林」的面積覆蓋，但是熱帶乾燥森林也沿著西半部向上擴展，使得「副熱帶山坡濕潤森林」的面積大幅減少；另外則是東北部與南部「暖溫帶淺山雨林」面積的增加，以及東北部「副熱帶山坡雨林」的出現。圖上較不易看見的則是「熱帶潮濕森林」、「冷溫帶山地雨林」的出現，以及「北方亞高山雨林」的減少。

A2 中期階段，首先可以發覺台灣中海岸出現了「熱帶非常乾燥的森林」，「副熱帶山坡濕潤森林」大幅減少，「熱帶乾燥森林」幾乎遍及整個西半部低海拔位置，且西部中低海拔靠山區位置，以及東部與南部的「熱帶

濕潤森林」面積也增加不少

而在 A2 長期階段的結果中，則可以看到「副熱帶山坡潮濕森林」、「冷溫帶山地雨林」與「暖溫帶淺山潮濕森林」向高海拔縮減，「熱帶乾燥森林」遍及西半部，「副熱帶山坡濕潤森林」幾近消失，「北方亞高山雨林」、「暖溫帶淺山雨林」、「副熱帶山坡雨林」與「熱帶潮濕森林」完全消失。「熱帶非常乾燥的森林」則較 A2 中期稍微增加。

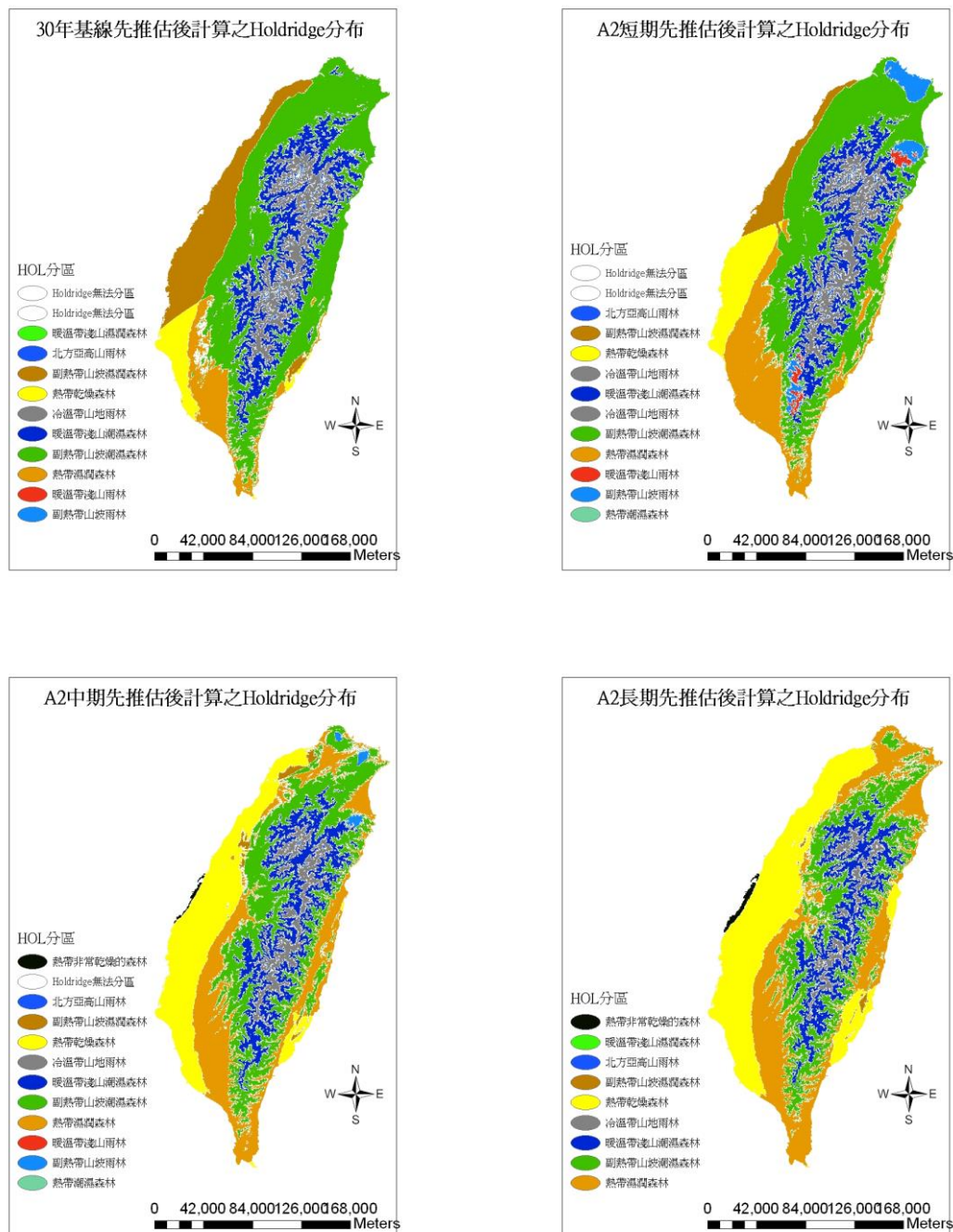


Fig.7 The changes of Holdridge life zones of the base-line and SRES-A2

Table. 2 The area of Holdridge life zones at SRES-A2 (unit: km²).

氣溫(攝氏)	雨量(mm)	分類	基線	A2 短期	A2 中期	A2 長期
1.5 以下	2000~4000	Holdridge 無法分區	1.41	0.18		
24 以上	1000 以下	熱帶非常乾燥的森林			68.08	188.53
1.5~3	2000~4000	Holdridge 無法分區	23.48	9.65	0.16	
6~12	1000~2000	冷溫帶山地潮濕森林				
12~18	1000~2000	暖溫帶淺山濕潤森林	0.17			9.36
1.5~3	4000~8000	Holdridge 無法分區				
3~6	2000~4000	北方亞高山雨林	391.34	258.29	51.15	9.83
18~24	1000~2000	副熱帶山坡濕潤森林	4859.96	1630.49	431.44	265.95
24 以上	1000~2000	熱帶乾燥森林	1577.60	2631.79	7669.19	10292.74
6~12	2000~4000	冷溫帶山地雨林	3811.67	3331.35	2159.75	1346.69
3~6	4000~8000	Holdridge 無法分區				
12~18	2000~4000	暖溫帶淺山潮濕森林	7279.37	6412.31	6101.36	5338.03
6~12	4000~8000	冷溫帶山地雨林		28.77		
18~24	2000~4000	副熱帶山坡潮濕森林	15031.09	13710.41	10746.55	8881.12
24 以上	2000~4000	熱帶濕潤森林	3006.27	6309.92	8480.67	9670.92
12~18	4000~8000	暖溫帶淺山雨林	4.16	410.46	11.87	
18~24	4000~8000	副熱帶山坡雨林	16.66	1261.56	250.49	
24 以上	4000~8000	熱帶潮濕森林		8.00	32.45	
18~24	8000 以上	熱帶雨林				
面積合計			36003.18	36003.18	36003.18	36003.18

表 3 清楚的可以看出在不同時期模擬時，各種生態分區的面積變化。其中令人注意的是「熱帶乾燥森林」面積的大幅增加，由一開始的 1577.6 平方公里，最後竟然增加到了 10292.74 平方公里，主要分布在西半部的平地到中低海拔山區。而另外則是「副熱帶山坡濕潤森林」由 4859.96 平方公里減少到只剩 265.95 平方公里。「熱帶濕潤森林」也由一開始的 3006 平方公里增加到了 9670 平方公里。「熱帶非常乾燥的森林」的出現也令人注意。而 Holdridge 無法分區的區域位置仍然在北部與中部山區零星分佈，並隨時間減少。氣溫在 1.5℃ 以下，雨量為 2000~4000mm 的區域在 A2 中期即消失；氣溫在 1.5~3℃ 間，雨量為 2000~4000mm 的區域則到了 A2 長期完全消失。

3.基線與 B2 短期，與中期以及長期的變化

而在 SRES-B2 模擬上，可由圖 8 可以看出在基線、B2 短期、B2 中期與 B2 長期的變化情形。在基線到 B2 短期模擬的結果來看，西南部、東部「熱帶濕潤森林」的增加，除了覆蓋了「熱帶乾燥森林」原來的面積覆蓋，也覆蓋了西南部「副熱帶山坡潮濕森林」的面積。而「熱帶乾燥森林」沿著西半部向上擴展，覆蓋「副熱帶山坡濕潤森林」的面積；東北部出現「副熱帶山坡雨林」。圖上較不易看見的則是「熱帶潮濕森林」的出現，以及「北方亞高山雨林」的減少。

B2 中期階段，「熱帶濕潤森林」與「熱帶乾燥森林」持續擴大，「副熱帶山坡濕潤森林」的面積越來越小，「副熱帶山坡雨林」與「暖溫帶淺山雨林」縮小，中部海岸出現了一點「熱帶非常乾燥的森林」；而「副熱帶山坡潮濕森林」則隨增加的熱帶濕潤森林與熱帶乾燥森林而縮減。

而在 B2 長期模擬結果，「副熱帶山坡濕潤森林」消失，山區「副熱帶山坡潮濕森林」的面積減少；北部、東北部「熱帶濕潤森林」，以及「熱帶乾燥森林」的增加。「熱帶非常乾燥的森林」雖繼 B2 中期仍存在中部海岸，但卻沒有如 A2 模擬結果面積的多，且面積較 B2 中期來得小。

由表 4.3 來看 SRES-B2 的生態分區變化，其中「熱帶濕潤森林」以及「熱帶乾燥森林」的增加為主要的重點。「熱帶濕潤森林」由 3006.27 平方公里增加到了 10726.89 平方公里；「熱帶乾燥森林」則是由 1577.6 平方公里增加到了 5778.58 平方公里。另外在「副熱帶山坡潮濕森林」則由 15031.09 平方公里持續減少到剩下 10502.14 平方公里。但是在此模擬結果中，「副熱帶山坡濕潤森林」從 4859.96 平方公里一直減少到消失。而 Holdridge 無法分區的區域位置仍然在北部與中部山區零星分佈，並隨時間減少。氣溫在 1.5°C 以下，雨量為 2000~4000mm 的區域在 B2 短期即消失；氣溫在 1.5~3°C 間，雨量為 2000~4000mm 的區域則到了 B2 長期還存在有 0.16 平方公里。

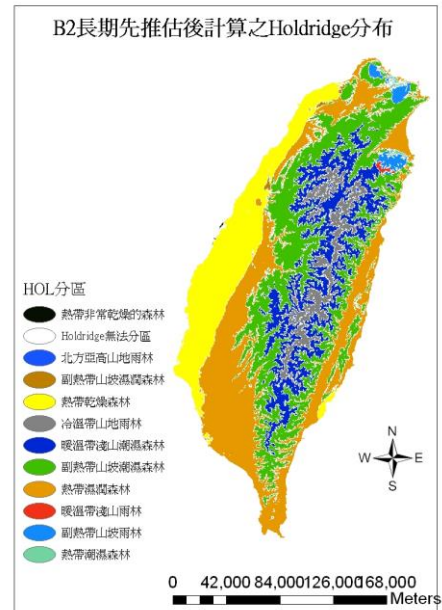
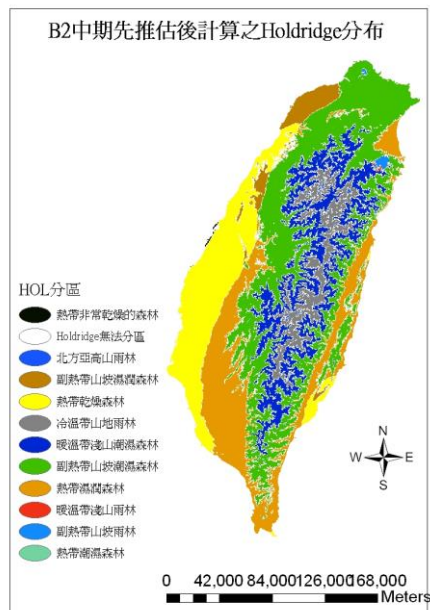
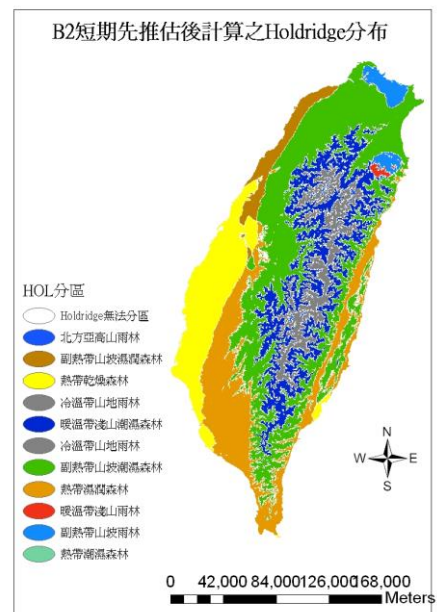
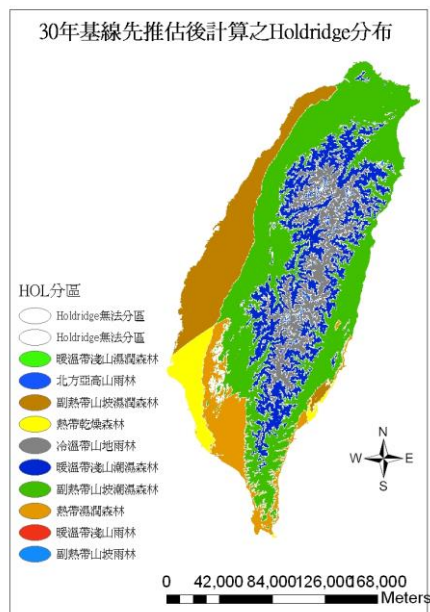


Fig.8 The changes of Holdridge life zones of the base-line and SRES-B2

Table. 3 The area of Holdridge life zones at SRES-B2 (unit: km²).

氣溫(攝氏)	雨量(mm)	分類	基線	B2 短期	B2 中期	B2 長期
1.5 以下	2000~4000	Holdridge 無法分區	1.41			
24 以上	1000 以下	熱帶非常乾燥的森林			13.33	3.21
1.5~3	2000~4000	Holdridge 無法分區	23.48	2.98	0.78	0.16
6~12	1000~2000	冷溫帶山地潮濕森林				48.61
12~18	1000~2000	暖溫帶淺山濕潤森林	0.17			
1.5~3	4000~8000	Holdridge 無法分區				
3~6	2000~4000	北方亞高山雨林	391.34	150.71	101.77	110.07
18~24	1000~2000	副熱帶山坡濕潤森林	4859.96	1223.86	1162.21	
24 以上	1000~2000	熱帶乾燥森林	1577.60	4532.60	5915.36	5778.58
6~12	2000~4000	冷溫帶山地雨林	3811.67	2923.39	2595.93	2111.86
3~6	4000~8000	Holdridge 無法分區				
12~18	2000~4000	暖溫帶淺山潮濕森林	7279.37	6531.10	6446.76	6004.61
6~12	4000~8000	冷溫帶山地雨林		0.50		
18~24	2000~4000	副熱帶山坡潮濕森林	15031.09	13161.26	12348.56	10502.14
24 以上	2000~4000	熱帶濕潤森林	3006.27	6565.73	7283.31	10726.89
12~18	4000~8000	暖溫帶淺山雨林	4.16	115.68	21.93	60.34
18~24	4000~8000	副熱帶山坡雨林	16.66	793.30	113.01	521.78
24 以上	4000~8000	熱帶潮濕森林		2.07	0.24	134.93
18~24	8000 以上	熱帶雨林				
面積合計			36003.18	36003.18	36003.18	36003.18

4.SRES-A2 與 SRES-B2 結果相比較

再將 SRES-A2 與 SRES-B2 結果相比較，在「熱帶乾燥森林」部份，SRES-A2 增加到了 10292.74 平方公里，而 SRES-B2 則增加到了 5778.58 平方公里；在「熱帶濕潤森林」，SRES-A2 增加到 9670.92 平方公里，SRES-B2 卻增加到 10726.89 平方公里。「副熱帶山坡濕潤森林」在 SRES-B2 雖然完全消失，但在 A2 部份仍有 265.95 平方公里。而其他在 SRES-A2 結果中已消失或是仍存在的生態區，像是暖溫帶淺山雨林、熱帶潮濕森林、暖溫帶淺山潮濕森林等，在 SRES-B2 結果中都還存在，或是比 A2 有著更大的面積。就最明顯的熱帶乾燥森林與熱帶濕潤森林來說，A2 以經濟發展為導向的情境模擬，會導致熱帶乾燥森林與熱帶濕潤森林這兩種 Holdridge 生態分區擴大，進而可能影響植群分布與組成；而若以 B2 此以環境保護為取向的情境模擬，熱帶乾燥森林與熱帶濕潤森林雖然同樣都有擴大，但在

1.Master of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: new.a8551@msa.hinet.net

2.Professor of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: flfeng@nchu.edu.tw

熱帶乾燥森林部份則不像 A2 情境模擬般來的嚴重，對植生造成的影響可能會較 A2 輕微點。

由以上的結果來看，可以發覺變化最明顯的是「熱帶乾燥森林」、「熱帶濕潤森林」、「副熱帶山坡濕潤森林」與「副熱帶山坡潮濕森林」。「副熱帶山坡濕潤森林」與「副熱帶山坡潮濕森林」伴隨著「熱帶乾燥森林」與「熱帶濕潤森林」的增加而減少，且以「熱帶乾燥森林」與「熱帶濕潤森林」為重心，環繞台灣。另外，SRES-A2 的模擬變化情形都較 SRES-B2 來的大，且變化都由南部開始、台灣平地，接著是往山區縮減「副熱帶山坡濕潤森林」與「副熱帶山坡潮濕森林」。這對台灣的植生來說，「熱帶乾燥森林」與「熱帶濕潤森林」的增加可能會造成森林樹種分佈的移動，高山森林界線上移，但森林也可能會因應氣溫增加與雨量減少，讓自己去適應環境的變化，而繼續生活在原來的棲息環境，值得學者研究探討。將以上四種生態區面積變化作成直方圖，如圖 10~11。

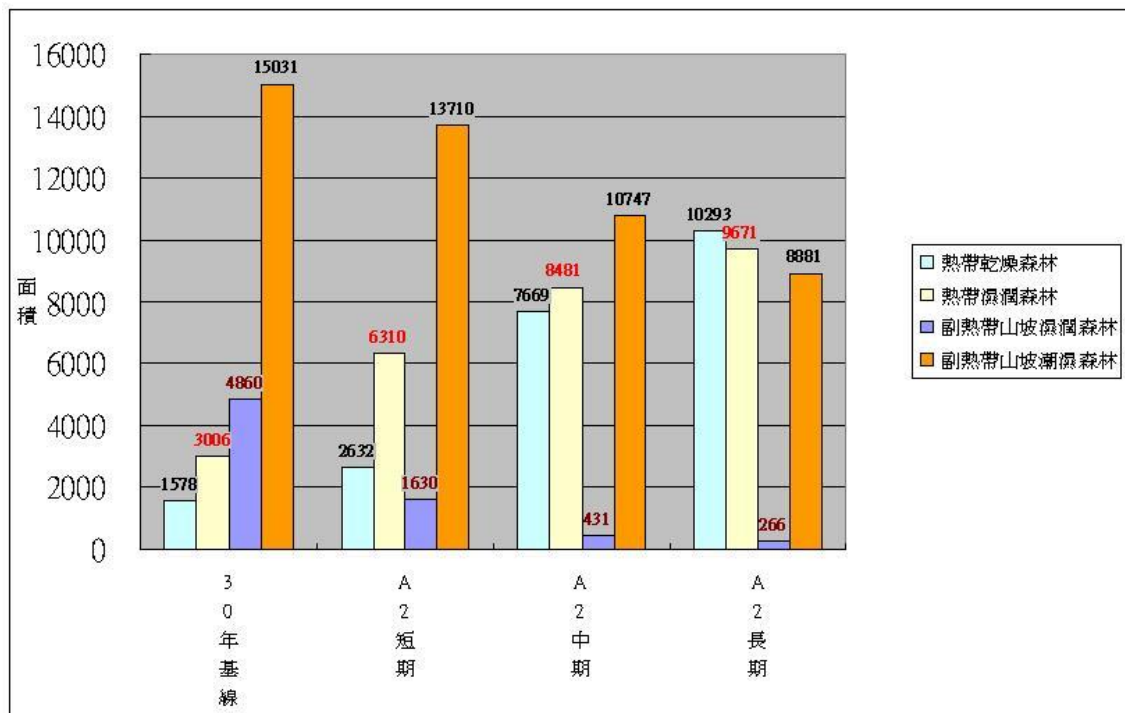


Fig.10 The changes of major Holdridge life zones' area of the base-line and SRES-A2

(unit: km²)

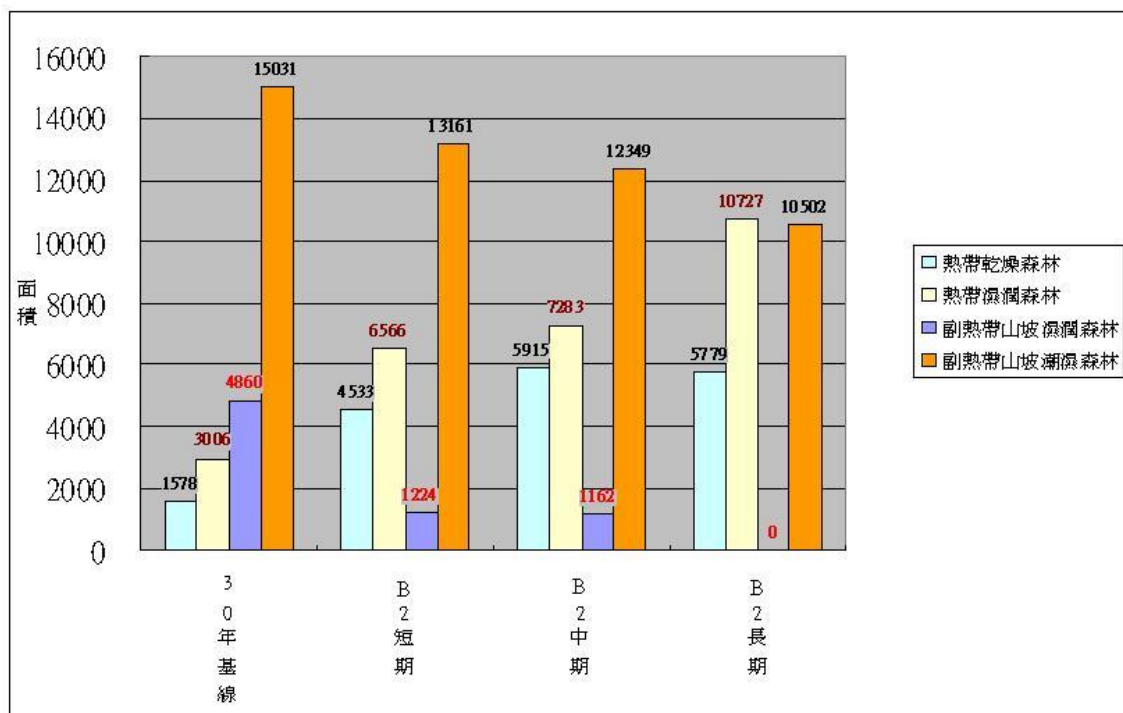


Fig.11 The changes of major Holdridge life zones' area of the base-line and SRES-B2

(unit: km²)

第五章 結論

在 SRES-A2&B2 的情境模擬結果，在年均溫模擬上，可以知道 SRES-A2 一開始在短期時溫度增加是以東北部與南部為最高，並向台灣中心遞減，到了中期，甚至最終的 A2 長期結果已改變成集中在台灣中部，並以中部為中心向四周遞減，年均溫增加 2.6~3.8℃。而在 SRES-B2 時，台灣出現全面溫度上升的現象，並可以發覺氣溫增加一開始就以中部為中心，溫度增高都集中在此，再向四週遞減。南部則出現了較多氣溫上升較低值的區域，年均溫增加約 1.8~2.5℃。

年雨量方面，SRES-A2 的模擬結果，台灣雨量以中央山脈地區影響最大，都是呈現雨量下降的情形；其他地區部份在 A2 短期時雖有大幅增加，但是到了 A2 中期、長期結果，其年雨量雖較基線有增加，但都是呈現出年雨量下滑的現象。而在 SRES-B2 期的結果，短期時雨量減少集中在中央山區、中部與西北部，東北部、東部、南部則有雨量增加。到了中期時雨量增加與減少趨近於緩和，長期時雨量增加最高的極值 572mm 左右仍出現在中部台中地區，雨量減少的位置集中在中央山脈。

將以上結果總合，首先可以知道以 SRES-A2（國內或區域經濟發展、資源利用假設情境）的情境模擬之下，其氣溫與雨量變化都較 SRES-B2（區域可持續發

1.Master of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: new.a8551@msa.hinet.net

2.Professor of National Chung Hsing University, Department of Forestry. E-mail: flfeng@nchu.edu.tw

展、環境保護假設情境)的情境模擬來的大。在 SRES-A2 的模擬之下，氣溫上升、雨量減少，造成了 Holdridge 生態區中「熱帶濕潤森林」與「熱帶乾燥森林」的大幅增加。而在 SRES-B2 的模擬，雖然同樣是氣溫上升，但上升的幅度較小，且其雨量增加，因此在「熱帶乾燥森林」增加的面積就不較 SRES-A2 結果來的大，山區的「副熱帶山坡潮濕森林」減少的面積也比較少。而在 Holdridge 的生態分區上也可以知道不論哪種情境模擬結果，「熱帶濕潤森林」與「熱帶乾燥森林」的增加將會是影響中低海拔森林的最主要原因，在此會有什麼樹種受到影響而消失、移動，或是有什麼樹種能適應此改變，也是未來此研究可以再進行的方向。

藉由此種情境模擬，可以清楚的看到因應氣溫的上升與年雨量下降所造成的熱帶乾燥、濕潤森林面積擴大，生態區組成改變。倘若再以此種模擬配合生育地因子來評估生態立地品位 (Ecological Site Quality)，也可以用來評估某種樹種其立地品位。又立地品位需要有溫度指數、土壤水平衡與土壤水分狀態、土壤溼度與土壤有效氮含量等因子，其中會使用到溫度與雨量的資料，因此在 IPCC 此 SRES 模擬可以提供未來可能的溫度與雨量來預測立地品位與生產力。但因為此 SRES 預測為一個舊有的預測模式 (IPCC, 2001)，倘若要更精細的預測未來氣溫與雨量來研究生態區改變與影響評估，就需要更細緻的未來預測模式跟更有力的空間推估，再加以進行 Holdridge 生態分區與針對物種與某些稀有樹種之影響評估。但針對氣候變遷假設情境產生的不確定性，如何降低仍是未來重要研究課題；此外未來也可使用 IPCC 提供之其他氣候預測模式進行比較，找出較適合台灣的氣候變遷預測模式。

但因為此模擬是預測未來西元 2010 年~2099 年的氣候變化，在這段期間內是否會對植物帶來影響仍須經過時間來證明，甚至需要不斷的更新預測模式與植生調查才能更清楚的了解未來植生到底是如何變化。就本研究來說，雖然是以目前的資料與 IPCC 於西元 2001 年發表的情境模擬模式來預測未來，但這研究結果可以提供現階段氣候變遷對台灣森林生態區所造成的影響，進行評估與參考。

第六章 參考文獻

- 林務局 (1995) 第三次台灣資源及土地利用調查。台灣省農林廳林務局。
- 吳昶清 (2002) 應用生育地因子評估立地品位。國立中興大學森林學研究所論文。
- 高堅泰 (1999) 群集分析法應用於台灣生育地之研究。國立中興大學森林學研究所論文。
- 高堅泰、馮豐隆 (2001) 森林生育地因子之空間推估與生育地分類。中華林學季刊 34(2): 167~184。
- 黃志成 (1997) 森林地景監測之研究-以惠蓀林場為例。國立中興大學森林學研究所博士論文 p.34~35。
- 黃啟峰 (2002) COP7 後 CDM 之進展與我國參與之可能性分析。氣候變化綱要公約 資訊速報 第三十四期。
- 馮豐隆、黃志成 (1997) 空間模式應用於林分結構母樹推估之研究。中興大學實

- 驗林研究季刊 19(2)：57~75。
- 馮豐隆、高堅泰（1999）應用克利金推估模式於降雨製圖。台大實驗林研究報告 13(2)：155~163。
- 馮豐隆、高堅泰（2001）Holdridge 生態區分類方法在台灣的應用與模擬。林業研究季刊 23(1)：83-100。
- 馮豐隆（2002）假設情境及其在氣候變遷上之應用。台灣林業 28(4)：24~32。
- 童慶斌、楊奕岑（2004）氣候變遷對台灣河川生態之衝擊。全球變遷通訊雜誌 44 期：18~24
- 羅悅心、關秉宗（1999）氣候變遷對台灣中部山區植物群系之影響（一）以 Holdridge 生物區帶模式評估。台大實驗林研究報告 13(3)：241~253。
- 蔡玉琴（1997）淡水河流域降雨時空分析集推估-地理資訊系統的應用。師大地理研究報告 26：171~177。
- 經濟部水資源統一規劃委員會。1989 台灣地區雨量紀錄。
- ESRI. 1996. Using the ArcView Spatial Analyst. ESRI. pp.84-92.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis.
- IPCC, 2001. Special Report on Emissions Scenarios.
- Joheston, K., J. M. V. Hoef, K. Kirvoruchko, and N. Lucas, 2001, Using ArcGis Geostastical Analyst. ESRI 300 pp.
- Box, E. O., 1981. Macroclimate and Plant Forms: a Introduction to Predictive Modeling in Phytogeography. Hague: Dr. W. Junk Publishers, pp. 258.
- Burrough, P. A., 1986. Principles of Geographical Information System for Land Resource Assessment. Oxford New York. 194pp.
- Burrough, P. A. and R. A. McDonnell, 1998, Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press. 333pp.
- Chen, X., X. S. Zhang and B. L. Li, 2003. The possible response of life zones in China under global climate change, Global and Planetary Change 38: 327-333.
- Cramer, W. P. and R. Leemans, 1993. Assessing impacts of climate changes on vegetation using climate classification systems. In: Lolomon, A. M. and H. H. Shugart (eds). Vegetation Dynamics & Global Change. Pp. 10-217. Chapman and Hall, New York.
- Holdridge, L. R, 1947. Determination of world plant formation from simple climatic data. Science 105: 367-369.
- Holdridge, L. R, 1959. Simple Method for Determining Potential Evapotranspiration from Temperature Data. Science. 130:572.
- Holdridge, L. R, 1967. Life Zone Ecology Tropical Science Center. San Jose, Costa Rica.